

## Список использованных источников

1. Теплотехнические расчеты металлургических печей: учебное пособие для студентов вузов / Б.Ф. Зобнин, М.Д. Казяев, Б.И. Китаев В.Г. Лисиенко, А.С. Телегин, Ю.Г. Ярошенко. Изд. 2-е. – М.: «Металлургия», 1982. – 360 с.
2. Конструирование и расчет сушильных печей и установок литейного производства: учебное пособие для вузов / Г.В. Воронов, С.Н. Гушин, М.Д. Казяев, Ю.В. Крюченков, В.М. Миляев. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2002. – 264 с.

УДК 536.4;66.045.12

**Ю. А. Диканова, В. А. Микула, Е. В. Диканов**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СИНТЕЗ-ГАЗА ДЛЯ ПГУ-ВЦГ С ОТВОДОМ ТЕПЛОТЫ К CO<sub>2</sub>

### Аннотация

*Было проведено два предварительных варианта конструктивного теплового расчета охладителя синтез-газа для парогазовой установки с внутрицикловой газификацией твердого топлива с CO<sub>2</sub> в качестве нагреваемой среды. В качестве прототипа был выбран конвективный газоохладитель с мембранными трубными спиралями. Теплообменные элементы представляют собой вертикальные спиральные трубы, по которым течет CO<sub>2</sub>. Теплообменник набирается из вертикальных спиралевидных элементов разного диаметра, расположенных один внутри другого. Синтез газ течет по кольцевым каналам, образованным в радиальном направлении между спиралями.*

*Основными компонентами синтез-газа являются CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, поэтому для упрощения алгоритма определения теплофизических параметров газа расчетный состав принят трехкомпонентным (CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>), а процентное содержание остальных компонентов пропорционально распределено между этими тремя компонентами.*

*Полученные результаты не соответствуют поставленным целям. На следующем этапе ставится задача нахождения оптимального варианта, который позволил бы нагреть весь поток CO<sub>2</sub>, направляемый в газогенератор, до температуры 800 °С обеспечив при этом минимальные затраты на прокачку CO<sub>2</sub> и синтез-газа через газоохладитель.*

**Ключевые слова:** ПГУ-ВЦГ, конвективный газоохладитель, газоохладитель со спиральными нагревательными поверхностями.

### Abstract

*There were two preliminary constructive thermal calculation of the cooling of synthesis gas for IGCC with CO<sub>2</sub> as the heated environment. As a prototype, a convective gas cooler with membrane pipe spirals was chosen. The heat transfer elements are a vertical helical tubes through which flows of CO<sub>2</sub>. The heat exchanger is assembled from vertical helical elements of different diameters arranged one inside the other. Synthesis gas flows through the annular channels formed in the radial direction between the spirals.*

*The main components of synthesis gas are CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, so to simplify the algorithm for determining the thermophysical parameters of the gas, the calculated composition is adopted as a three-component (CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>), and the percentage of the remaining components is proportionally distributed between these three components.*

*The results obtained do not correspond to the goals set. At the next stage, the task is to find the optimal variant that would allow to heat the entire flow of CO<sub>2</sub> directed to the gas generator to a temperature of 800 °C, while ensuring minimum costs for pumping CO<sub>2</sub> and synthesis gas through the gas cooler*

**Key words.** IGCC, convective gas cooler, gas cooler with a spiral heating surfaces.

Разработка процесса получения электроэнергии на основе твердого топлива с нулевыми выбросами CO<sub>2</sub> лежит в ряду разработок так называемых чистых угольных технологий. К ним относятся технологии прямого сжигания угля в паротурбинном цикле суперсверхкритических параметров (USC) и парогазовые технологии IGCC, оснащенные системами улавливания и захоронения CO<sub>2</sub> – CCS. Технологии USC без CCS более конкурентоспособны по капитальным затратам по сравнению с IGCC без CCS. Однако взятые большинством стран обязательства по снижению выбросов парниковых газов делают технологию IGCC с CCS теоретически более выгодной в средне- и долгосрочной перспективе.

Существенно выше оказывается потенциал нового направления развития CCS-технологий – Оху-fuel IGCC со сжиганием синтез-газа в газовой турбине в среде O<sub>2</sub>–CO<sub>2</sub> и нулевыми выбросами в атмосферу, обеспечивающего эффективность выработки электроэнергии не ниже энергоблоков USC без CCS.

Для повышения эффективности Оху-fuel IGCC можно использовать газоохладитель (ГО), в котором горячий синтез-газ после газогенератора отдает свою теплоту CO<sub>2</sub>.

Для разработки конвективного газоохладителя для Оху-fuel IGCC мощностью 300 МВт был произведен тепловой расчет системы охлаждения синтез-газа.

В качестве аналога выбран конвективный газоохладитель с мембранными трубными спиралями (рис. 1), для него рекомендуемые параметры: длина одного блока охлаждения (по ходу газа) – 10 м; длина блока смещения (располагающихся между блоками охлаждения) – 4 м; скорость синтез-газа в кольцевых каналах блоков охлаждения около 8 м/с [2, 3]. При расчетах оставались неизменными следующие характеристики поверхностей нагрева: внутренний/наружный диаметр труб спиралей – 56/66 мм; диаметр витков внутренней спирали (с минимальным диаметром витков) – 0,55 м; относительный шаг между витками спиралей  $s_2/d=2$ ; расстояние от оси труб внешней спирали (с максимальным диаметром витков) до корпуса  $0,5 \cdot s_2$ .

Основными компонентами синтез-газа являются CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, поэтому для упрощения алгоритма определения теплофизических параметров газа расчетный состав принят трехкомпонентным (CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>), а процентное содержание остальных компонентов пропорционально распределено между этими тремя компонентами (таблица 1).

Таблица 1

Состав синтез-газа

Компонент	Процентное содержание, масс. %
	Принятый в расчете газоохладителя
CO	35,24
H <sub>2</sub>	19,7
CO <sub>2</sub>	45,06



Таблица 2

## Результаты расчета газоохладителя

	1 вариант	2 вариант
Описание принятых условий расчета	Массовый расход синтез-газа – 100,4 кг/с Температура синтез-газа на входе – 1100 °С Массовый расход CO <sub>2</sub> – 90 кг/с Температура CO <sub>2</sub> на входе – 400 °С Температура CO <sub>2</sub> на выходе – 800 °С Скорость CO <sub>2</sub> – 15 м/с	Массовый расход синтез-газа – 100,4 кг/с Температура синтез-газа на входе – 1100 °С Температура CO <sub>2</sub> на входе – 400 °С Температура CO <sub>2</sub> на выходе – 800 °С Скорость CO <sub>2</sub> – 15 м/с Площадь проходного сечения CO <sub>2</sub> – 0,01477 м
Полученные результаты	Температура синтез-газа на выходе – 959 °С Высота газоохладителя составляет 134 м (10 БО и 10 камер смешения)	Температура синтез-газа на выходе – 1091 °С Массовый расход CO <sub>2</sub> – 6 кг/с Высота газоохладителя составляет 11 м (11 БО и 1 камера смешения)
Краткий анализ результатов	В результате расчета пропускной способности для прохождения CO <sub>2</sub> при заданных условиях недостаточно. Возможны 2 пути решения: 1. Увеличения скорости CO <sub>2</sub> примерно в 1,5 раза. При этом сопротивление потоку CO <sub>2</sub> будет выше рекомендованного уровня. 2. Увеличение проходного сечения труб. При этом требуется найти решение по изменению конструкции и компоновки газоохладителя	В данном случае охлаждение синтез газа незначительно (9 °С).

Полученные результаты в 1 и 2 вариантах не соответствуют поставленным целям. На следующем этапе ставится задача нахождения оптимального варианта, который позволил бы нагреть весь поток CO<sub>2</sub>, направляемый в газогенератор, до температуры 800 °С обеспечив при этом минимальные затраты на прокачку CO<sub>2</sub> и синтез-газа через газоохладитель.

## Список использованных источников

1. Разработка системы охлаждения синтез-газа для ПГУ-ВГЦ / Ю.А. Марчкова, В.А. Микула // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве: сборник докладов VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (ТИМ'2017) с международным участием (11–12 мая 2017 г.). – Екатеринбург: УрФУ, 2017. – С. 71-74.

2. Gas and particleflow characteristics in the gas reversing chamber of a syngas cooler for a 300 MWe IGCC process/ P. Sangbin, Y. In-Soo, O. Junho, R. Changkook, K. Ja Hyung // Applied Thermal Engineering. – 2014. – №70. – P. 388–396

3. Convective heat transfer characteristics of high-pressure gas in heat exchanger with membrane helical coils and membrane serpentine tubes / Z. Yang, Z. Zhao, Y. Liu, Y. Chang, Z. Cao // Experimental Thermal and Fluid Science. – 2011. – №35. –P. 1427–1434.

УДК 669.162.12:622.788

**Е. Г. Дмитриева<sup>1</sup>, В. С. Швыдкий<sup>2</sup>, С. Я. Журавлев<sup>2</sup>, И. В. Плесакин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ОАО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург, Россия;

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ В СЛОЕ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ**

### **Аннотация**

*С целью совершенствования расчетной методики теплообмена в плотных слоях металлургических агрегатов был проведен ряд опытов, позволяющих уточнить коэффициент теплоотдачи между потоком газа и окатышами в процессе нагрева. Исследованиями выявлено в слое окатышей установившееся канальное течение при  $Re = 100 - 1400$ . Был рассчитан коэффициент теплоотдачи и определена температура окатышей в процессе нагрева с точностью  $\pm 11,4$  °С.*

**Ключевые слова:** теплообмен в слое, обжиг окатышей, плотный слой, коэффициент теплоотдачи, гидродинамическое сопротивление, течение газов.

### **Abstract**

*For the sake of improving the calculation procedure for heat transfer in metallurgical unit dense beds a number of experiments has been carried out which allow adjustment of the heat transfer factor between the gas flow and the pellets in the course of heating. In the course of analysis a permanent channeling flow was detected in the pellet bed at  $Re = 100 - 1400$ . The heat transfer factor was calculated and the pellet temperature was determined in the course of heating within  $\pm 11.4$  °C.*

**Key words:** heat transfer in bed, pellet firing, dense bed, heat transfer factor, hydrodynamic resistance, gas flow.

Теплообмен между газом и слоем зернистого материала в значительной мере определяет производительность агрегатов и качество получаемого продукта. Интенсивность теплообмена определяется плотностью теплового потока, поступающего от более горячего тела системы к более холодному, которая, в свою очередь, пропорциональна коэффициенту теплоотдачи  $\alpha_F$  и температурному напору  $\Delta t$ . Однако до настоящего времени отсутствуют математические выражения, позволяющие определить коэффициент теплоотдачи в плотных слоях агломерационных и обжиговых машин, доменных печей и других металлургических агрегатов с достаточной для инженерных расчетов точностью.